

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra obrábění a montáže

Optimalizace řezání keramiky SiC

Optimization of Ceramics Cutting

Student: Martin Pelant

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Vladimír Vrba, CSc

Ostrava 2009



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Optimalizace řezání keramiky

Optimization of Ceramics Cutting

Student: Martin Pelant
Studijní obor: 2303R002 – 70 Strojírenská technologie
Pracoviště: Katedra obrábění a montáže – 346

Zásady pro zpracování:

1. Obecná charakteristika problému.
2. Problematika obrábění keramických materiálů.
3. Návrh vhodného zařízení nástrojů a řezných podmínek pro řezání SiC.
4. Diskuze experimentálních prací.
5. Technicko-ekonomické zhodnocení.

Pokyny pro zpracování:

Rozsah práce: Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Seznam doporučené literatury:

VASILKO, K., NOVÁK-MARCINČIN, J., HAVRILA, M. *Výrobné inžinierstvo.* [/I] Prešov : Datapress Prešov, 2003, 424 s. ISBN 80-7099-995-0.

NESLUŠAN, M., TUREK, S., BRYCHTA, J., ČEP, R., TABAČEK, M. *Experimentálne metódy v trieskovom obrábaní.* [/I] Žilina : EDIS Žilina, 2007, 343 s. ISBN 978-80-8070-711-8.

BRYCHTA, J., HAVRILA, M., JURKO, J., ZAJAC, J. *Top trendy v obrábaní, I. časť – Obrábané materiály.* Žilina : Media/ST, s.r.o., Žilina, 2006, 193 s. ISBN 80-968954-2-7.

ZAJAC, J., JURKO, J., ČEP, R. *Top trendy v obrábaní, II. časť – Nástrojové materiály.* [/I] Žilina : Media/ST, s.r.o., Žilina, 2006, 193 s. ISBN 80-968954-2-7.

VASILKO, K., HAVRILA, M., MARCINCIN-NOVÁK, J., MÁDL, J., ZAJAC, J. *Top trendy v obrábaní, III. časť – Technologie obrábění.* [/I] Žilina : Media/ST, s.r.o., Žilina, 2006, 214 s. ISBN 80-968954-2-7.

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Vladimír Vrba CSc.

Datum zadání bakalářské práce: 8. října 2008

Datum odevzdání bakalářské práce: Akademický rok 2008/2009




.....
doc. Dr. Ing. Josef BRYCHTA
vedoucí katedry


.....
prof. Ing. Radim FARANA, CSc.
děkan

V Ostravě dne 1. října 2008

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 22.5.2009

Adam Mráz
podpis studenta

Prohlašuji, že

- byl jsem seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě: 22. 5. 2009



ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Pelant, M. Optimalizace řezání keramiky SiC. Ostrava: katedra obrábění a montáže, Fakulta strojní VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2009, 38 s. Bakalářská práce, vedoucí doc. Ing. Vrba, V. CSc.

Bakalářská práce se zabývá optimálními podmínkami pro řezání keramiky SiC. V úvodu jsou základní poznatky, jakož jsou základní pojmy a rozdělení keramiky. Následně popsána výroba a její jednotlivé fáze. Dále se zabývá metodami obrábění keramiky a problematikou jednotlivých metod. V dalším bodě se zabývá praktickou zkouškou a návrhem optimálního zařízení a řezných podmínek pro řezání keramiky SiC. V závěru této práce je provedeno technicko-ekonomické zhodnocení navržené metody.

Bachelor theses annotation

Pelant, M. Optimization of ceramics cutting process SiC. Ostrava: Department Machining and assembling, Faculty Mechanical VŠB – Technical university Ostrava, 2009 38p. Bachelor theses manager doc. Ing. Vrba, V. CSc

Bachelor theses solve optimal conditions of cutting ceramics. Basic information are mentioned in preamble. It means key notions and ceramics split. Next is in detail described production process and every operation. In theses is description of ceramics machining and individual methods. Author describes applied testing and the proposal of process optimization including cutting conditions. In fine is solved technical and economics evaluation of selected method.

OBSAH BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

SEZNAM POUŽITÉHO ZNAČENÍ, SYMBOLŮ A ZKRATEK	7
--	----------

ÚVOD	8
-------------------	----------

1 OBEČNÁ CHARAKTERISTIKA PROBLÉMU	9
--	----------

1.1 KERAMIKA.....	9
--------------------------	----------

1.1.1 ROZDĚLENÍ KERAMIKY PODLE POUŽITÍ.....	9
---	---

1.1.2 ROZDĚLENÍ KERAMIKY PODLE CHEMICKÉHO SLOŽENÍ.....	10
--	----

1.1.3 KERAMICKÉ SUROVINY	11
--------------------------------	----

1.1.4 ZÁKLADY KERAMICKÉ TECHNOLOGIE	13
---	----

1.2 MATERIÁL POUŽÍVANÝ PRO OBRÁBĚNÍ KERAMIKY	17
---	-----------

1.2.1 VYUŽITÍ DIAMANTU	17
------------------------------	----

1.2.2 VLASTNOSTI DIAMANTU	18
---------------------------------	----

1.2.3 VÝSKYT DIAMANTU	20
-----------------------------	----

1.2.4 DRUHY PŘÍRODNÍ DIAMANTOVÉ SUROVINY	21
--	----

1.2.5 UMĚLÝ DIAMANT	22
---------------------------	----

2 PROBLEMATIKA OBRÁBĚNÍ KERAMICKÝCH MATERIÁLŮ..	24
--	-----------

2.1 OBRÁBĚNÍ POMOCÍ DIAMANTOVÝCH NÁSTROJŮ	25
--	-----------

2.2 POUŽITÍM VODNÍHO PAPRSKU.....	27
--	-----------

3 NÁVRH VHODNÉHO ZAŘÍZENÍ NÁSTROJŮ A ŘEZNÝCH PODMÍNEK PRO ŘEZÁNÍ SiC	33
---	-----------

3.1 ZÁKLADNÍ INFORMACE O KARBIDU KŘEMÍKU	33
---	-----------

3.2 NÁVRH VHODNÉHO NÁSTROJE A ŘEZNÝCH PODMÍNEK PRO ŘEZÁNÍ SiC	36
--	-----------

4 DISKUSE EXPERIMENTÁLNÍCH PRACÍ.....	38
--	-----------

5 TEHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ	42
---	-----------

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	44
--	-----------

SEZNAM POUŽITÉHO ZNAČENÍ, SYMBOLŮ A ZKRATEK

ZNAČENÍ	VÝZNAM	JEDNOTKA
CVD	Chemical Vapor Deposition – metoda pro výrobu umělého diamantu pomocí chemických reakcí	
ČSN 224015	Česká státní norma – Tato norma se zabývá zrnitostí diamantových prášků a Granulometrického složení	
D	Zrnitost krystalů	
F	Označení posuvu	mm/min
FEPA	(federace evropských producentů brusiv) bezpečnostní doporučení pro správné použití brusných nástrojů	
HPHT	High Pressure High Temperature – metoda výroby umělého diamantu pomocí vysokého tlaku a vysoké teploty	
HV	Zkouška tvrdosti podle Vickerse	
K	Koncentrace brusiva	
PKD	Polykrystalický diamant	
Rm	Mez pevnosti	
SiC	Karbid křemíku	
SK	Slinutý karbid	
SiSiC	Křemíkem infiltrovaný karbid křemíku	
crt	karát, hodnota diamantu	

Úvod

V současné době neexistuje široký sortiment materiálů, kterými jsme schopni obrábět keramiku. Řešením tohoto problému není podle mého názoru hledání nových, dosud nepoužívaných řezných materiálů, ale spíše optimální využití již známého materiálu. Z karbidu křemíku, který je hlavním tématem této bakalářské práce jsou vytvořeny těsnicí kroužky, udržující hladký běh hnacího systému největší dopravní lodi na světě Queen Mary 2.

Firma CeramTec Czech Republik vznikla v roce 1995 a je dceřinou společností německé firmy CeramTec AG, která patří mezi světovou špičku v oblasti technické keramiky a speciálních materiálů. Exportuje do celého světa produkty pro odvětví stavby strojů, přístrojů a zařízení, chemie, ochrany životního prostředí, energetiky, automobilového průmyslu a dalších. Cílem této bakalářské práce je návrh vhodného zařízení nástroje a řezných podmínek pro řezání karbidu křemíku.

1 OBECNÁ CHARAKTERISTIKA PROBLÉMU

Keramika je velmi tvrdý a křehký materiál a proto je obrábění takovýchto materiálů technologicky i finančně náročnější, než obrábění kovových a jemu podobných materiálů.

1.1 Keramika

Keramika spolu s dřevem, kostmi, kůží a kameny patřila mezi první materiály, které pravěký člověk zpracovával. Keramika je anorganická nekovová látka s různorodou polykrystalickou strukturou. Výpalem vznikne pórovitá nebo slinutá hmota, která je tvořena krystaly, skelnou fází a póry. Keramika má některé velmi dobré a v praxi využitelné vlastnosti. Většina keramik jsou výbornými izolátory (ale na druhé straně vysokoteplotní supravodiče mají rovněž strukturu keramik). Jsou velmi dobrým konstrukčním materiálem ve stavebnictví, ve strojírenství. A používá se i ve zdravotnictví.

1.1.1 Rozdělení keramiky podle použití

a) Keramika užitková

Hlavním požadavkem je pevnost, zdravotní nezávadnost, chemická odolnost a estetický vzhled.

- užitkový porcelán
- ozdobný porcelán
- užitková a varná keramika
- hrnčířské užitkové a zahradní výrobky
- kamnářské výrobky

b) *Keramika zdravotnická*

- Používá se v hygienických zařízeních.

c) *Keramika technická*

- Rozhodující jsou mechanické, elektrické, tepelné a fyzikální vlastnosti.
- Používá se v elektrotechnice, elektronice, strojírenství, hutnictví, v textilním průmyslu a v lékařské ortopedii jako náhrada kyčelních kloubů v endoprotézách.

1.1.2 Rozdělení keramiky podle chemického složení

a) *Keramika na základě sloučenin*

- Porcelán, dlaždice, hrnčířské a kamnářské výrobky a další druhy keramiky odvozené od těchto hmot.

b) *Keramika z čistých kovů – oxidová keramika*

- Jedná se o oxidové keramiky slinuté bez přídavku taviv, dosahující chemické čistoty 99,9%.
- Korund je hlavním představitelem této skupiny. Výrobky se používají pro náročné technické účely v elektronice, jaderné technice, raketové technice, v technice vysokých teplot, ve zdravotnictví jako náhrada kyčelních kloubů v endoprotéze

c) *Keramika bezkyslíkatá*

- Jsou to keramické hmoty na základě karbidů, titankarbidů, nitridů, boridů apod.
- Dosahují mimořádných vlastností: vysoké pevnosti v žáru, vysoké odolnosti proti teplotním rázům, vysoké vodivosti apod.

d) Kovokeramické materiály

- Jsou významnou skupinou v oblasti kompozitních materiálů. Jsou složeny z kovových a keramických komponent.
- Cermety – hlavním představitelem je oxid hlinitý, doplněný wolframem nebo molybdenem, železem, chromem, niklem apod. Představují nové kvalitní hmoty, v oblastech, kde keramika svými vlastnostmi nevyhovuje. Jsou to oblasti – kosmická technika, letecká technika a další.

1.1.3 Keramické suroviny**a) Keramická přírodní surovina**

Keramické přírodní suroviny tvoří především zeminy a horniny. Zeminy jsou základem plastických surovin a horniny se využívají v keramických směsích jako taviva. Základní přírodní keramické suroviny – Jíl, živec, křemen, dolomit, vápenec, mastek.

b) Keramická syntetická surovina – oxidová

Pod pojmem oxidová keramika se zahrnují materiály tvořené jedním oxidem nebo směsí několika málo oxidů. Společným znakem těchto materiálů je, že základní výchozí látkou je syntetický práškový oxid definovaných vlastností.

Mezi tyto oxidové materiály patří oxid hlinitý Al_2O_3 , titaničitý TiO_2 , zirkoničitý ZrO_2 a další.[1] Tyto a jiné oxidy se vyznačují vysokým bodem tání a dalšími významnými vlastnostmi, viz tab.1.1.3.b-I.

Tabulka: 1.1.3.b-I: Vlastnosti oxidů kovů používaných v keramické technologii [1]

Oxid	Hustota $d(\text{gcm}^{-3})$	Teplota tání $t_m(^{\circ}\text{C})$	Střední koeficient délkové teplotní roztlačnosti $\alpha_{20-1000\text{ }^{\circ}\text{C}} \cdot 10^{-6} (\text{K}^{-1})$	Tepelná vodivost $\lambda (\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1})$	Modul pružnosti E (GPa)
Hliníť Al ₂ O ₃	3,99	2054±6	8,3	25/6	410
Titaniť TiO ₂	3,6-3,95	-	4,7-8,2	-	-
Zirkoniť ZrO ₂	5,56	-	10,0	-	-

Poznámka: λ při 30°C při 100°C**c) Keramická syntetická surovina – neoxidová**

Neoxidová keramika zahrnuje širokou paletu materiálů. Tyto materiály můžeme rozdělit na nekovové a kovové, přičemž hranice mezi uvedenými skupinami není pevně stanovena. Tyto materiály mají vysokou teplotu tání nad 1800 °C a většinou vynikají vysokou tvrdostí. K nekovovým keramickým materiálům patří SiC, Si₃N₄, AlN, C₄B, a NB. K těmto také patří diamant. Mezi nejtvrdší anorganické materiály patří karbidy, boridy, a silicidy, tzv. přechodných prvků, Ti, Zr, V, Cr, Mo, W. [1] Tyto materiály vyžadují přípravu výchozích prášků. Vyznačují se dobrými vlastnostmi, viz tab.1.1.3.c-I.

Tabulka: 1.1.3.c-I: Vlastnosti nekyslíkatých látek [2]

Látka	Hustota (g/cm ³)	Teplota tání (°C)	Teplotní roztlačnost $\alpha \cdot 10^{-7} (\text{K}^{-1})$	Tepelná vodivost (Wcm ⁻¹ K ⁻¹)	Tvrdost (MPa) ¹⁾
SiC	3,21	2700	45 (20-1000°C) 59 (20-2000°C)	1,7 (25°C) 0,17 (1500°C)	250
Si ₃ N ₄	3,2	1900°C	25 (20-2000°C)	0,15 (25°C)	9 (Mohs)
TiC	4,92	3250	55 (20 °C) 102 (20-2000°C)	0,67	320

¹⁾tvrdost – Knoopova zkouška

1.1.4 Základy keramické technologie

Charakteristikou keramických materiálů je, že jejich příprava je založena na úpravě a homogenizaci výchozích složek k získání směsí požadovaných vlastností a vhodné konzistence. Z těchto směsí jsou tvarována tělesa, která je nutné zpravidla nejdříve vysušit a potom vypálit na teploty, kdy keramické materiály získají své optimální vlastnosti.

a) Příprava keramických směsí

Základem přípravy keramických směsí je rozdělení výchozích složek na požadovanou velikost částic a jejich následná co nejdokonalejší homogenizace. Náročnost těchto procesů je možné posoudit podle maximální velikosti zrn složek směsi požadované pro jednotlivé druhy keramiky, viz tab. 1.1.4 a-I.

Tabulka: 1.1.4 a-I: Velikost maximálních zrn v různých druzích keramických směsí [1]

Druh keramického materiálu	Požadovaná velikost max. zrna ve směsi d_{\max} (μm)	Obsah* (hmotn. %)
Nanomateriály	<0,1	0
Speciální technická keramika	<1	0
Slinutá oxidová keramika	4 – 5	4
Porcelán s vysokou mechanickou pevností	50	3
Porcelán	60	3 – 6
Pórovité obkladačky	80	4
Vysoce slinuté obklad. prvky, tzv. gress porcelanato	60	<2
Zdravotnická keramika	100	6
Kamenina	120	10
Hutné obkladové prvky	60 – 200	20
Pórovina	300 – 1000	20
Cihlářské výrobky tenkostěnné	1500	10
Žáropevné materiály, fasádní cihly	1000	15
Cihlářské výrobky tlustostěnné	3000	20

Poznámka: *obsah zrn větších než je uvedená velikost maximálního zrna

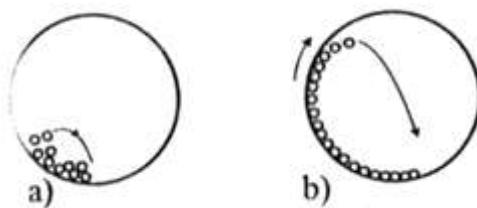
b) Mletí keramických směsí

Požadované velikosti zrn keramické směsi se dosahuje nejčastěji různými způsoby mletí výchozích složek nebo směsí. Účinným a nejpoužívanějším způsobem přípravy keramické směsi je společné mletí v bubnovém mlýnu na mokré mletí. Mletá směs je promíchána s vodou. Mletí se provádí v bubnových mlýnech, jejichž vnitřní povrch je vyzděn keramickou vyzdívkou nebo je vyložen otěruvzdornou pryží. Mlecími tělesy jsou obvykle přírodní pazourky nebo keramické koule, či válečky z materiálu s vysokým obsahem oxidu hlinitého (i čistě korundové). Mlecí koule jsou výhodnější, ale dražší než válečky.[1] Při mletí je třeba počítat s určitým opotřebením vyzdívkou mlýna a otěrem mlecích těles a tedy s jistou kontaminací mleté směsi.

V některých případech se proto používaly i pryžové koule s ocelovým jádrem s cílem snížení otěru mlecích těles. S ohledem na otěr je třeba po určité době mlecí tělesa doplňovat.

Optimální zaplnění mlýna tělesy je cca 50 – 55 % jeho objemu. Celková náplň mlýna (mlecí tělesa + omílané části + voda) nesmí při normálním režimu mletí zaplnit více jak 80 % vnitřního objemu mlýna. Používá se hmotnostní mlecí poměr: mlecí tělesa: voda: omílané části

= 1 : 0,6 : 1.[1] Mletí probíhá tak, že koule jsou přitlačovány odstředivou silou k vnitřní straně mlýna, jsou vynášeny v závislosti na jeho otáčkách do určité výšky, odkud padají na omílané části a zbylá mlecí tělesa. Při mletí v bubnovém mlýnu se mohou mlecí tělesa pohybovat dvěma způsoby v závislosti na otáčkách bubnu. (Obr.1)



Obr.1: Schematické znázornění pohybu mlecích těles při mletí v bubnovém mlýnu:

a) kaskádní, b) kataraktní [1]

Kaskádní režim mletí se uplatňuje při nízkých otáčkách nebo při nízkém plnění mlýna mlecími tělesy (cca do 30 % objemu mlýna). Omílané části se omílají hlavně třením mezi mlecími tělesy a vnitřním povrchem mlýna. Tento proces je vhodný pro jemné mletí za mokra, kdy malá mlecí tělesa ještě tento proces zintenzivňují.

Kataraktní režim mletí je vhodný zejména pro hrubé mletí. Tento způsob omílání vzniká, při otáčkách blížících se kritickým. Dochází k němu také při vyšším plnění mlýna mlecími tělesy než 50 % jeho objemu. Mletí probíhá nárazem a zintenzivňuje se zvýšením hmotnosti mlecích těles nebo průměru mlýna.

c) *Tvarování keramiky*

Jedním z hledisek rozdělení způsobů tvarování keramiky je konzistence keramické směsi. Při pokojové teplotě jsou to následující způsoby: [1]

I. lití ze suspenze:

- disperzním činidlem je 20 – 40 % vody, lije se do pórovitých sádrových forem nebo pod tlakem do polymerních forem.
- Disperzním činidlem je nepolární kapalina (organické rozpouštědlo), lije se na hladkou nepórovitou podložku
- lití do sádrových forem, lití nevhodných keramických suspenzí

II. plastické tvarování:

- z těst s obsahem 17 – 27 % vody
- ze směsí s obsahem 1 – 10 % nevhodného rozpouštědla a organických pojiv
- plastické tvarování, plastické tvarování práškových směsí

III. lisování:

- z vlhkých směsí s obsahem 15 – 18 % vody a s organickými lisovacími přísadami
- z polosuchých směsí s obsahem 8 – 15 % vody
- ze suchých směsí s obsahem <4 % vody nebo organických pojiv
- přetokové lisování, pístové lisování, izostatické lisování, žárové lisování

Za vyšších teplot jsou to způsoby tvarování:

- vstřikové lití – nízkoteplotní a vysokoteplotní
- žárové lisování – pístové nebo izostatické

d) Sušení keramiky

Sušení keramiky je energeticky i technologicky náročný proces, při kterém se může vynaložit až 30 % veškeré energie na zhotovení výrobku. Vedle nutné úspory energie je nezbytnou podmínkou úspěšného průběhu tohoto procesu zachování celistvosti vytvarovaného tělesa. Sušený keramický materiál je možné považovat za dvousložkovou soustavu, která obsahuje sušinu a vlhkost. Tato soustava se může vyskytovat ve dvou krajních stavech. Je to buď keramický materiál, tvořící spojitý pevný celek, v jehož pórech je vlhkost. Nebo je to keramický materiál tvořen nepórovitými částicemi, které mají na povrchu vrstvu vlhkosti. Reálné těleso z vlhkého keramického materiálu představuje soustavu mezi těmito krajními stavy.

Sušení je fyzikální proces, při kterém se působením tepla snižuje obsah vlhkosti v materiálu bez změny jeho chemického složení. Většinou se jedná o odpařování vlhkosti pod teplotou varu vody. U těles z keramických materiálů dochází často v průběhu sušení ke změně jejich rozměrů. Vnější podmínky sušení charakterizují vlastnosti sušicího prostředí. Jsou to např. teplota, vlhkost, tlak a rychlost proudění sušicího prostředí. Vliv na sušení má také velikost a tvar sušených těles apod.

e) Výpal keramiky

Výpal keramiky patří mezi základní procesy v technologii keramiky. Tělesa, vytvarovaná ze směsí disperzních, ve vodě nerozpustných anorganických, převážně nekovových materiálů, získávají při výpalu své charakteristické vlastnosti. Podmínkou výpalu je zachování tvaru těchto těles. Výpal je nákladný proces, podílí se 30 až 50 % na ceně výrobků.

Výpal je tepelné zpracování keramického materiálu nebo vytvarovaného tělesa podle stanoveného režimu. Při výpalu probíhá na hraničních plochách zrn materiálu proces tvorby jeho mikrostruktury. Tyto zrna materiálu jsou spojeny díky fyzikálním zákonům a chemickým reakcím. Vysoká teplota výpalu umožňuje zvýšenou pohyblivost atomů a dalších základních stavebních jednotek látek.

1.2 Materiál používaný pro obrábění keramiky

Jelikož je diamant, ať přírodní či umělý nejtvrdějším materiálem je nejvhodnější pro obrábění keramiky. Zatím nebyl nalezen, či vyroben jiný materiál, který by se prokázal lepšími vlastnostmi než výše zmíněný diamant.

1.2.1 Využití diamantu

Diamant má některé mimořádné vlastnosti, pro které se stal vyhledávanou průmyslovou surovinou. Jsou to především vysoký index lomu a disperze světla, které byly příčinou jeho velké obliby ve šperkařství, kde diamant zaujímá první místo mezi všemi ostatními drahokamy. Jeho mimořádná tvrdost, kterou převyšuje vysoko všechny ostatní technicky použitelné materiály, způsobila, že se stal nezbytnou surovinou v mnoha výrobních odvětvích novodobého průmyslu. Diamantové korunky se uplatňují např. v hornictví při hlubinných vrtech, v hutnictví jsou diamantové průvlaky nepostradatelné pro tažení všech jemných drátů, ve strojírenství se používá diamantových obráběcích nožů při soustružení různých materiálů, při orovnávání brousících kotoučů i na přesné zkoušení tvrdosti materiálů. Ve sklářství slouží diamant při řezání a rytí skla v lékařství se používá diamantů v zubolékařských vrtáčcích. Diamantovým prachem se brousí všechny tvrdé materiály a vyrábějí se z něho diamantové lapovací kotouče.

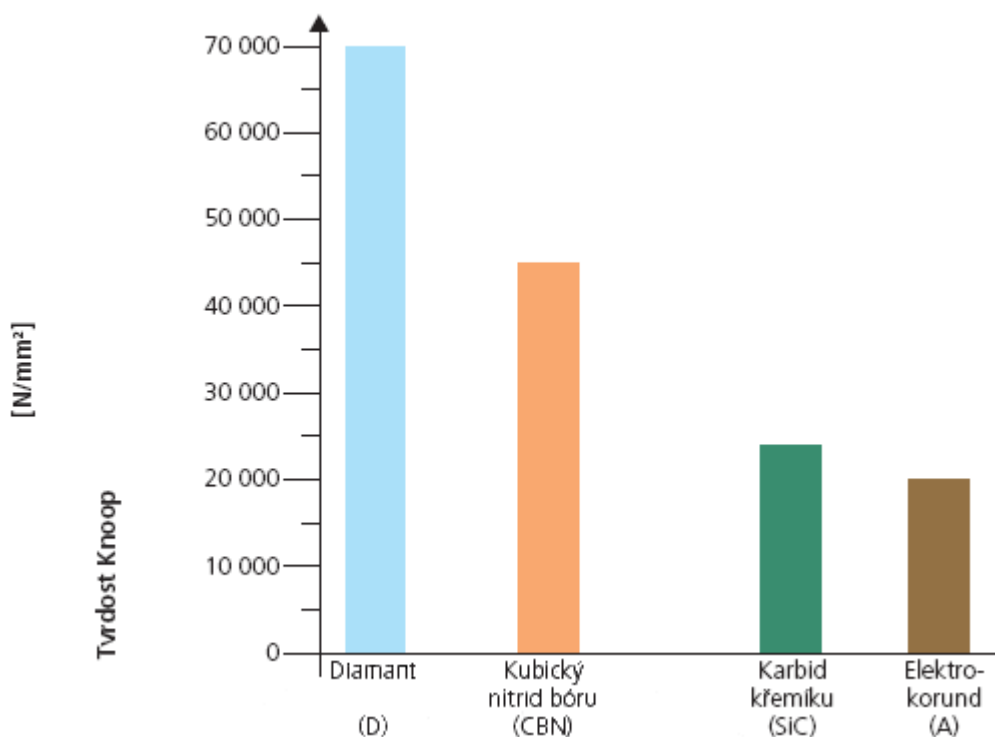
1.2.2 Vlastnosti diamantu

Diamant je čistý uhlík krystalizující v krychlové soustavě. Uspořádání uhlíkových atomů v elementární mřížce diamantu je velmi charakteristické. Jeho struktura je tvořena dvěma plošně centrovanými krychlovými mřížkami vzájemně proti sobě posunutými ve směru tělesné úhlopříčky o čtvrtinu její délky. Diamant se v Mohsově stupnici vyznačuje číslem 10. Ve srovnání s korundem, který v této stupnici tvrdosti materiálu zaujímá deváté místo, je diamant 140 krát tvrdší. Proti křemenu je diamant 7000 krát tvrdší. Hustota diamantu je 3,52-3,6 g/cm³ [3]

(Obr.2) Mohsova tabulka tvrdosti. Diamant se označuje jako supertvrdý materiál, protože výrazně předčí ostatní používaná brusiva, korund a karbid křemíku i kubický nitrid bóru, pokud se týče tvrdosti. (Obr.3)

Tvrdost	Látka
1	mastek
2	sůl kamenná
3	kalcit (vápenec)
4	fluorit (kazivec)
5	apatit
6	živec (ortoklas)
7	křemen
8	topaz
9	korund
10	diamant

Obr.2 Mohsova tabulka tvrdosti.[4]



Obr.3 Porovnání tvrdosti brusiv[5]

Při broušení diamantového monokrystalu na litinovém kotouči a naneseným diamantovým prachem lze se snadno přesvědčit, že tvrdost diamantu není na všech plochách stejná. Nejčastěji se krystaly obrábí podle ploch krychle, osmistěnu a kosočtverečného dvanáctistěnu. Brousí-li se plocha krychle, aby síla broušení působila ve směru její úhlopříčky, je množství obroušeného diamantu asi 150krát menší než při broušení ve směru hran. Broušení ploch kosočtverečného dvanáctistěnu ve směru, kratší úhlopříčky je přibližně 250krát rychlejší než broušením ve směru delší úhlopříčky. Směry, ve kterých lze plochy diamantu „snadno“ brousit, nazýváme měkkými a směry, ve kterých je opracování téměř nemožné, nazýváme tvrdými. Diamantové nástroje mají různou fluorescenci, tj. jsou-li ozářeny ultrafialovým světlem, svítí různými barvami. Některé fluoreskují (světlkují) modře, jiné zeleně, žlutě a růžově. Tato vlastnost diamantu se studuje v souvislosti s jeho mechanickými vlastnostmi při výrobě a používání diamantových nástrojů. Diamant nesnadno taje a je nerozpustitelný ve všech běžných rozpouštědlech.

Rozpouští se však v některých roztavených kovech (železo, kobalt, nikl, platina atd.) a při jejich ochlazení se z nich vylučuje jako grafit. Za varu se pozvolna rozpouští v oxidační směsi dvojchromanu draselného a kyseliny sírové, nebo dusičnanu draselném.

Za vysokých teplot se slučuje s vodíkem, sírou, křemíkem, bórem a dalšími prvky. Při teplotě 700°C se diamant na vzduchu pozvolna spaluje, se zvyšováním teploty se spalování zrychluje.

V ochranné atmosféře nastává se zvyšováním teploty změna struktury diamantu, která se u čirých a průhledných diamantů začíná projevovat asi při 1000°C jako zbarvení povrchu, které přes stříbrný nádech přechází se vzrůstající teplotou v šedé až černé zbarvení.

Index lomu světla, jakož to i barevný rozptyl je u diamantu značný. Na něm je založena hra barev, tzv. barevné plamínky diamantu. Hlavní vlastnosti zajistily tomuto zajímavému minerálu důležitou úlohu v rozvoji techniky a moderní průmyslové výroby.

1.2.3 Výskyt diamantů

V přírodě se vyskytuje ve dvou typech nalezišť. Jsou to naleziště prvotní (primární) a druhotná (sekundární). Prvotní naleziště jsou krátery sopek, zvané též komíny, tufy nebo trubky. Diamanty se zde vyskytují v hornině „kimberlit“, která byla pojmenována podle Kimberley v jižní Africe, kde bylo objeveno první světové naleziště tohoto typu.

Diamantové hornina kimberlit je šedé, černé nebo tmavozelené barvy. Rozměry kimberlitových trubek dosahují na povrchu několika desítek metrů. Jejich hloubka se odhaduje na 2 až 3 km. Diamantové doly přesahují hloubku 1000 m. Trubky se nevyskytují ojediněle, ale ve skupinách, takže vypadají jako kimberlitová pole.

V nejbohatších dolech připadá na tunu vytěžené horniny 2,5 crt, diamantu, přičemž se těží také hornina, která obsahuje v tuně jen 0,1crt diamantu. Přitom se diamant nikdy nevyskytuje pohromadě ve větších skupinách, ale je v hornině rovnoměrně rozložen.

Díky mimořádné tvrdosti a chemické stálosti mohly se diamanty přenášet ve vodních tocích sta kilometrů bez pozorovatelných změn. Vlivem atmosférických podmínek se hornina primárních nalezišť rozpadávala. Diamant byl vodními toky odplavován do nižších míst, kde se usazoval a kde vznikla druhotná naleziště. Významná druhotná naleziště jsou na Urale a v některých částech Afriky a Brazílie. Váha převážného množství přírodních diamantů se pohybuje od setin do 1 až 2 karátů, přičemž průměrná váha běžných diamantů je asi ¼ crt.

Krystaly těžší padesáti karátů se v historii nacházely ojediněle a mají různá jména. Nejtěžší diamant Kullinan byl nalezen v roce 1905 v jižní Africe na dole „Premiér“ a do jeho rozdělení vážil 3024 crt. Další velký krystal, známý po celém světě je Exscelsior (995 crt).[3]

1.2.4 Druhy přírodní diamantové suroviny

Diamantové krystaly se liší, tvarem, barvou, mechanickými vlastnostmi, nečistotami atd. Podle těchto různých vlastností se diamanty třídí na jednotlivé druhy. Nejstarší a také nejvšeobecnější třídění rozděluje diamanty na šperkařské a technické. K technickým diamantům náleží všechny druhy, které se nehodí pro výrobu šperků. Toto měřítko je jen orientační, neboť pokud jde o vměstky, trhliny a dutiny, kladou se na diamanty pro výrobu některých nástrojů (průvlaky, měřicí hroty) přísnější požadavky než na diamanty pro šperky. Obvykle se technické diamanty rozdělují do čtyř skupin: boart, krašink boart, balasy a karbony.

Boart jsou čiré, barevné a průsvitné i neprůsvitné krystaly různého původu. Podle tvaru jsou zde dokonale vyvinuté pravidelné mnohostěny, i krystaly nedokonalého různého tvaru a s plochými i oblými stěnami. Na plochách krystalu bývají často rýhy a výstupky ve formě stříšek. Krystaly podřadné jakosti mají bublinky, dutiny a vměstky. Boart se nejvíce uplatňuje v průmyslu pro výrobu nerůznějších nástrojů. Podle účelu, ke kterému se krystaly hodí, dělí se na následující skupiny:[3]

Krystaly vhodné

- a) Pro výrobu průvlaků
- b) Pro výrobu měřících hrotů
- c) Pro výrobu ořovnávačů brusných kotoučů
- d) Pro výrobu vrtacích korunek
- e) Pro výrobu obráběcích nožů

S rozvojem využití boartu v průmyslu se třídění na jednotlivé skupiny z tohoto hlediska postupně mění a rozšiřuje.

Krašink boart je druh diamantu, který obsahuje krystaly nepravidelného tvaru, většinou kulatého. Jsou neprůhledné šedé a obsahují až 20% nečistot.

Tento druh diamantu se nedá použít pro výrobu nástrojů. Převážně se drtí na diamantový prach, jehož se používá k broušení a leštění tvrdých materiálů.

Balas Ve srovnání s jinými druhy diamantové suroviny se vyskytuje velmi zřídka. Balasy jsou drobné krystalky, hrubě kulovitěho tvaru. Mají velkou tvrdost a pevnost. Brazílské jsou tvrdší než Africké.

Karbon je šedý a černý. Vzhledem se podobá kousku uhlí nebo koksu. Je velmi tvrdý. Vyskytuje se zřídka, takže se prakticky nepoužívá.

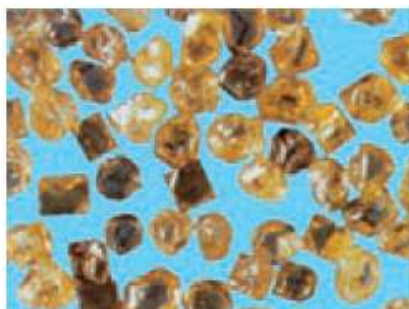
Kromě tohoto rozdělení existují ještě velmi četné podrobné specifikace diamantů, sestavené podle různých hledisek. Přihlížejí kromě použití v průmyslu také k tvaru, barvě, nečistotám, pórům, bublinám atd. Nejsou všeobecné a mají zvláštní charakter v souvislosti se speciálním použitím diamantů.

1.2.5 Umělý diamant

V celé historii diamantu bylo snahou různých vědců získat diamant umělou cestou. Velmi jemné diamantové krystaly vyrobil poprvé v roce 1817 francouzský chemik Moissan tím, že rozpustil uhlík v roztaveném železe, které pak ve formě kapek prudce ochladil, takže se uhlík uvnitř vyloučil ve formě mikroskopických diamantových krystalků.[3] Podle vnějšího vzhledu připomíná umělý diamant prášek získaný drcením méně hodnotných přírodních diamantů. Velikost jednotlivých zrn se pohybuje od 0,25 mm do 0,9 mm. Umělý diamant nahrazuje v průmyslu stále více diamanty přírodní. Zvláště se osvědčilo jako brusivo, takže se ho používá pro výrobu brusných a řezných kotoučů, pilníků, vrtáků, orovnávačů, zubolékařských vrtáků, vrtacích korunek a k mnoha jiným účelům. Umělé diamanty se dnes vyrábějí dvěma metodami.

HPHT a CVD. Při HPHT se diamanty „pečou“ za vysokých teplot a tlaků, 5 – 10 GPa a 1500 °C – 2000 °C, kdežto CVD je metoda kondenzace par na vhodném podkladu, kterým je zde přímo diamant. Směs vodíku s metanem je při této metodě bombardována nabitými částicemi. To vyvolá složitou chemickou reakci a následně déšť uhlíku dopadajícího na podklad, kde ztverdne ve formě diamantu. Výroba pomocí CVD metody může ovlivnit tvar diamantu mnohem lépe než dříve používaná technologie HPHT, kdy se stlačoval uhlík za použití roztaveného kovu jako katalyzátoru.

Zatímco pomocí HPHT bylo vyrobeno poměrně málo kvalitních a drahých kamenů, většina byla zbarvena do žluta či do hněda, (Obr.4). Technologie CVD dává mnohem lepší výsledky.



Obr. 4 Diamantové zrno[5]

2 PROBLEMATIKA OBRÁBĚNÍ KERAMICKÝCH MATERIÁLŮ

Problematika obrábění keramických materiálů nezávisí jen na chemickém složení obráběného materiálu, ale také na podmínkách, které jsou potřeba k výrobě kvalitního výrobku. Jelikož keramika patří mezi velice tvrdé materiály, které nelze obrábět jakýmkoli nástrojem, obrábí se především umělým diamantem, protože využití přírodního diamantu by bylo příliš nákladné. Diamant je křehký, a tedy velmi málo odolný proti rázům. Mnohdy i malé nárazy mohou způsobit poškození diamantového krystalu. Jeho pevnost jako nástroje je do značné míry závislá na jakosti jeho připevnění. Diamant je dobrým vodičem tepla. Je však citlivý na rychlé změny teploty. Při rychlém ohřátí nebo ochlazení se často stává, že krystal použitý v nástroji praskne, a tím se znehodnotí. Materiál obrobku musí být homogenní jinak při přerušení řezu nebo změně třísky hrozí poškození diamantu. Velká citlivost diamantu na otřesy vyžaduje úpravu obráběcích strojů pro klidnější chod a také úpravu upínacích držáků.

Tato technologie umožňuje zhotovit keramické díly, které nelze vyrobít tažením nebo lisováním. Obrábět je možné suché nebo předžahnuté polotovary, vyrobené tažením nebo lisováním. K obrábění se používají všechna zařízení jako při práci s kovem (soustruh se suportovou bruskou, fréza, vrtačka a stolová kotoučová pila).

Při obrábění zvláště suché keramiky je nutné mít na zřeteli, že se pracuje s hmotou, která má malou mechanickou pevnost a je křehká. Vysoké řezné rychlosti způsobují velký vývin tepla v místě řezu a na břitě nástroje. Ve většině případů se proto musí používat chladicí kapalina, která odvádí část tepla vzniklého při obrábění, snižuje tření v místě řezu a tím omezuje množství vzniklého tepla, zvyšuje životnost břitě, odplavuje třísky z řezné plochy.

2.1 Obrábění pomocí diamantových nástrojů

Efektivnost využití diamantových nástrojů ve značné míře závisí na jejich správném výběru a způsobu použití. Diamantové nástroje nejsou vhodné pro obrábění měkkých materiálů. (dochází k zanášení funkční vrstvy a ke ztrátě brusných vlastností nástroje). Diamantové nástroje pracují při rychlostí $4 - 80 \text{ ms}^{-1}$, záleží ovšem na podmínkách při obrábění, jako je průměr nástroje, druh keramiky, vazby mezi zrna, jestli broušení probíhá za sucha, či s chlazením a také na druhu operace.[8]

Diamantové nástroje jsou dodávány s pryskyřičnými, kovovými, keramickými nebo galvanickými vazbami (pojivy). Pojivo slouží jako vazba mezi brusivem a polotovarem. Určuje například, jak pevně budou krystaly brusiva v nástroji držet a jak velkou částí budou vystupovat nad jeho povrch. Pojivo ovlivňuje životnost, výkon, tvarovou stálost a samoostřicí vlastnosti diamantových nástrojů.

Tyto vlastnosti také závisí na zrnitosti brusiva a koncentraci diamantových zrn ve funkční vrstvě. Pro volbu vazby je kromě opracovávaného materiálu a druhu brusiva nutné určit také druh operace. Zrnitost a koncentrace brusiva také významně ovlivňuje drsnost obrobeneho materiálu. Koncentrace brusiva vyjadřuje váhový obsah diamantu v 1 cm^3 brousící vrstvy, dle vzorce $K = g \cdot \text{cm}^3$ nebo $K = \text{crt} \cdot \text{cm}^3$. Jako základ byla stanovena koncentrace 100, kde 1 cm^3 brousící vrstvy obsahuje 0,88g (4,4crt) brusiva a zaujímá tedy 25% objemu brousící vrstvy. Koncentrace se pohybují od hodnot K25 do K150. Použití koncentrace diamantového zrna

je závislá na druhu operace. Nízká koncentrace zaručuje dobré samoostřicí vlastnosti nástroje, zvyšuje výkon nástroje, snižuje vývin tepla, snižuje životnost nástroje, zhoršuje stálost tvaru, zvyšuje drsnost povrchu. Střední koncentrace se používá nejčastěji. Vysoká koncentrace prodlužuje životnost, zlepšuje stálost tvaru, snižuje drsnost povrchu, snižuje výkon, zhoršuje samoostřicí vlastnosti nástroje a zvyšuje vývin tepla.

Každý diamantový nástroj při správném používání by měl pracovat v procesu samoostření. Jestliže z jakéhokoli důvodu dojde k zanesení brousící vrstvy nástroje a tím ke ztrátě brousících vlastností, je nutné, provést "oživení" brousící vrstvy. To se provede v pracovní poloze za normálních otáček např. mokrým úlomkem bílého korundového kotouče zrnitosti K80 - K60, několikerým "zapíchnutím" tohoto úlomku do diamantové vrstvy. V jiných případech je vhodnější úlomek kotouče z karbidu křemíku.

Břity diamantových nástrojů tvoří vrstva syntetických diamantových krystalů ve velmi hustě slisované formě bez pojiva, která je napevno připojena k čelní ploše destičky SK, která slouží pouze jako nosič. Existuje několik druhů PKD, které se od sebe vzájemně liší hustotou a velikostí zrn. Každý druh má své specifické vlastnosti, pro něž je vhodný pro opracovávání konkrétních keramických materiálů. Na základě těchto zkušeností každý výrobce pro své nástroje stanovuje i přesné řezné podmínky, tzn. řeznou rychlost, rychlost posuvu apod. Břity diamantových nástrojů mají díky své čisté struktuře bez pojiva extrémně vysokou odolnost vůči opotřebení, ale zároveň vyšší citlivost na rázové namáhání. Břítové destičky diamantových nástrojů mají menší úhel čela a větší úhel břitu.

Všechny typy diamantových nástrojů je nutné používat na tuhých strojích, bez vibrací s uložením vřetena zaručujícím minimální chvění při chodu stroje. Při nedodržení těchto předpokladů dochází ke snížení trvanlivosti nástroje, tím se zhoršuje drsnost opracovaného povrchu a snižuje se výkon nástroje.

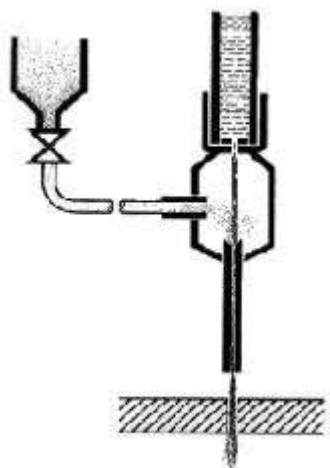
Mezi obrábění se také řadí lapování, které patří do skupiny dokončovacích prací. Lapování je dokončovací obrábění volně rozptýleným brusivem v kapalině nebo brusné pastě. Jedná se o diamantové zrna různých velikostí (řádově v mikronech), které je smícháno se syntetickou kapalinou. Lapování je velmi jemné opracování tvaru a povrchu výrobku, zvláště tam, kde se požaduje velká geometrická přesnost, spojená s vysokou jakostí povrchu. Této přesnosti je možné dosáhnout bez pevného upnutí obrobku. Vysoké požadavky na kvalitu povrchu a rovnosti např. u těsnících kroužků z keramiky, je možné zajistit právě lapovací technikou. Kromě rovinného povrchu je možné tuto technologii použít na vnější i vnitřní lapování.

2.2 Použitím vodního paprsku

Vodní paprsek se využívá k dělení plošného materiálu, vytvoření např. ozubení, děr různých průměrů (podle možnosti řezacího stroje) apod. Tímto způsobem nelze řezat oválné plochy. Tryska musí směřovat na materiál, pod kterým je v těsné blízkosti hladina vody.

Princip

Základem každého řezacího systému je vysokotlaké čerpadlo, které prostřednictvím multiplikátoru (zesilovač tlaku) generuje tlak vody dnes až přes 400 MPa. V průmyslové praxi jsou dnes testovány stroje s pracovním tlakem až 600 MPa i vyšším. Jejich vyšší řezný výkon je však zatím většinou "kompenzován" nižší životností mnoha komponent. Vysokotlakým vedením je voda dopravována k řezací hlavě, kde je systémem trysek vytvořen vlastní "řezací nástroj". Nejčastěji jde o cca 0,8-1,5 mm široký hydroabrazivní paprsek s příměsí brusného prášku (nejčastěji granátového "písku") (Obr.5).[10] Hydroabrazivní paprsek je díky své vysoké energii schopen řezat velmi tvrdé materiály jako jsou různé druhy keramiky v tloušťkách 150 i více mm, podle použitého zařízení. Pro měkké materiály se používá řezání vodním paprskem bez abraziva (Obr.6). Pohyb řezací hlavy je řízen počítačem dle předem sestaveného programu. Podkladem jsou například soubory vytvořené v programu AutoCAD.



Obr. 5 Řezání abrazivním paprskem [9]



Obr. 6 Řezání bez abraziva [9]

Řezání vodním paprskem se osvědčuje především tam, kde konvenční postupy nedosahují dostatečné kvality. Zvýšené náklady v důsledku následných úprav nebo nízké rychlosti procesu odpadají. Protože při řezání se nevytváří plyny a páry, je postup navíc bezpečný, čistý a ekologický.

Rychlost řezání se odvíjí od druhu keramiky, jeho tloušťky, požadované kvality řezu a samozřejmě i od použitého zařízení. Obecně se pohybuje od milimetrů až po metry za minutu. Níže uvedené hodnoty řezání platí pro dělicí řez při tlaku 410 MPa, 3,8 l/min vody a 580 g/min abraziva (FLOW PAsERplus, 0,17mm). [9]

Tabulka: 2.2-I: Orientační rychlosti řezání (mm/min) [9]

Materiál/Tloušťka	5 mm	10 mm	15 mm	20 mm	25 mm	30 mm	50 mm	100 mm
Keramika	8 869	4 835	3 087	2 210	1 686	1 337	637	233

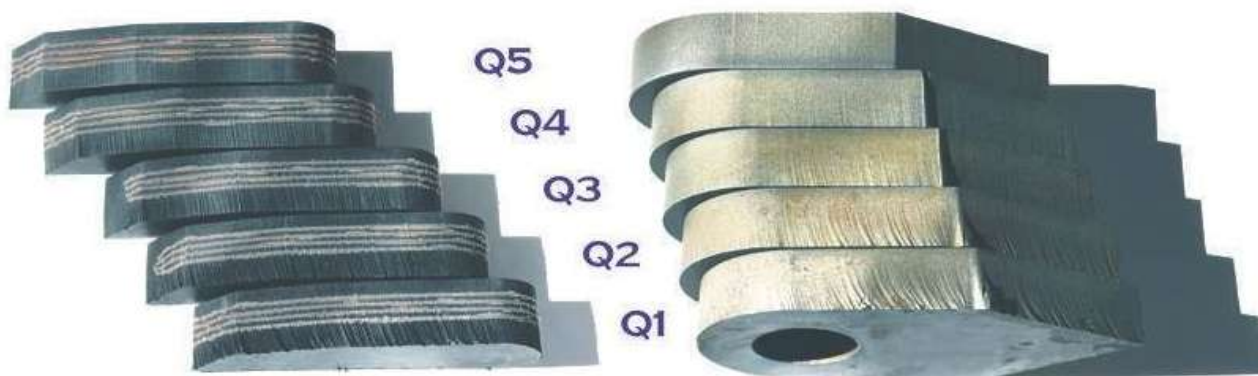
Přesnost a kvalita řezu

Současná zařízení dokáží řezat s přesností až $\pm 0,04$ mm. Standardně se však pohybují v rozmezí $\pm 0,1$ až $0,2$ mm. Na konečnou přesnost má vliv především rychlost řezání a tloušťka řezaného materiálu (s růstem tloušťky materiálu anebo rychlosti řezání klesá přesnost). Řezání vodním paprskem prakticky neovlivňuje okolí řezu, tudíž je možné řezat materiály již s provedenou povrchovou úpravou jako například barvené, leštěné nebo s napařenou vrstvou (zrcadla).

Tabulka: 2.2-II: Orientační popis užívaných stupňů kvality řezu [10]

Stupeň kvality	Základní charakteristika	Drsnost Ra v horní kontuře	Drsnost Ra ve spodní kontuře	Tvarová přesnost (mm*) v horní Kontuře	Tvarová přesnost (mm*) ve spodní kontuře	Úkos
Q5	Nejlepší řez	Pod 3,2	cca 3,2	$\pm 0,1$	$\pm 0,1$	Většinou mírný podřez
Q4	Kvalitní řez	cca 3,2	Cca 6,3	$\pm 0,1$	$\pm 0,2$	Většinou mírný podřez
Q3	Střední řez	cca 4,0	Do 12,5	$\pm 0,15$	Dle materiálu	Dle typu a síly materiálu
Q2	Hrubý řez	cca 4,0	Do 25	$\pm 0,2$	Dle materiálu	Dle materiálu
Q1	Dělicí řez	4,0-6,3	Do 40	$\pm 0,2$	Výrazně nepřesné	Výrazný úkos do +

(*) Hodnoty jsou pouze orientační a dle typu materiálu se mohou lišit



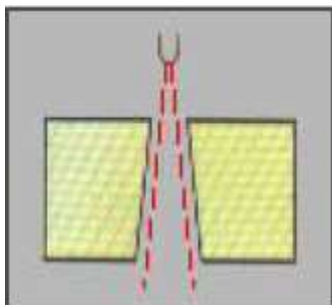
Obr. 7 Příklady řezu [10]

VÝHODY

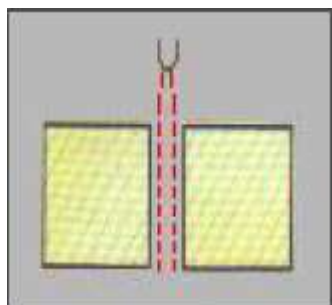
- Řez probíhá bez tepelného působení, takže materiál nevykazuje fyzikální, chemické ani mechanické změny a je snadno následně obrobitelný. Dílce se tepelně nedeformují (nelze vyloučit deformaci díky vlastnímu napětí v materiálu)
- Možnost řezu jakýchkoli materiálů včetně kovů a slitin i kalených či jinak modifikovaných, dále těžko opracovatelných materiálů jako sklolaminátů, skel, gumotextitů, měkkých i tvrdých pryží, plastů, těsnění apod.
- Při řezu se neporuší ani případná povrchová úprava - leštění, broušení.
- Možnost nahradit soubor operací (dělení, vrtání, frézování ...) jediným technologickým procesem
- Možnost volby kvality řezu od nejlepší s drsností Ra pod 3,2 až po hrubý dělicí řez výrazně rýhovaný s výraznými rozdíly ceny
- V kvalitnějších stupních řezu většinou není nutné již žádné další opracování
- Tvarové omezení řezu je dáno pouze kruhovitým průřezem paprsku, je možno řezat i velice detailní kontury.
- Při řezu nevznikají žádné ekologicky nevhodné zplodiny, takže jde o technologii přátelskou k životnímu prostředí.

NEVÝHODY

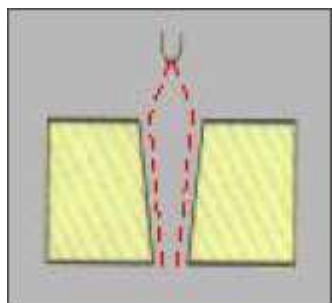
- Nevyhnutelný kontakt s vodou a většinou i s abrazivním materiálem (bez okamžitého vhodného ošetření rychlý nástup povrchové koroze, u nasákavých materiálů delší vysoušení, možnost změny barvy, znečištění apod.)
- Omezená možnost výroby hodně malých dílců (cca pod 3-5 cm)
- Možnost řezat jen ploché tvary
- Při horších kvalitativních stupních řezu u silnějších materiálů dochází k deformaci kontury řezu ve spodní hraně vlivem tzv. výběhů paprsku



Obr. 8 Velmi pomalý řez nebo řez v měkkém materiálu – paprsek stihne "probrousit" svou přirozenou kuželovitou stopku [10]



Obr. 9 Optimální rovnováha mezi rychlostí řezu, odolností a tloušťkou materiálu – paprsek je udržen po celou dobu průchodu materiálem ve válcovitém tvaru a úkos nevzniká [10]



Obr. 10 Velmi rychlý řez nebo řez v odolnějším materiálu – paprsek nestihne „probrousit“ materiál ani ve svém vstupním průměru a řez se směrem dolů uzavírá [10]



Obr.11 Řezací stroj [10]

3 NÁVRH VHODNÉHO ZAŘÍZENÍ NÁSTROJŮ A ŘEZNÝCH PODMÍNEK PRO ŘEZÁNÍ SiC

3.1 Základní informace o karbidu křemíku

Karbid křemíku (dále jen SiC) patří do skupiny neoxidových keramických materiálů. Svou mimořádnou tvrdost získal díky kovalentním vazbám mezi atomy křemíku a uhlíku. Tyto silné vazby také způsobují jeho vysoký modul pružnosti a mimořádně nízkou tepelnou roztažnost.

(SiC) vykazuje vysokou tepelnou vodivost. Toto je doprovázeno vysokou, téměř konstantní pevností v širokém rozsahu teplot spolu s nízkou hustotou. Odolnost vůči chemickému a tepelnému zatížení jej činí vhodným k použití v agresivních médiích (kyseliny a slabé zásady), při zvýšených teplotách a současného tribologického zatížení. Jako polovodivá látka má (SiC) také zvláštní elektrické vlastnosti.

Karbid křemíku má několik mimořádných vlastností:

- Vysoká teplotní odolnost
- Odolnost vůči korozi
- Vynikající tepelná vodivost
- Nízká tepelná roztažnost
- Vysoká pevnost v širokém teplotním rozsahu
- Nízká hustota

(SiC) je sloučenina uhlíku a křemíku. Velmi vzácně se vyskytuje i v přírodě jako minerál moissanit. Karbid křemíku se připravuje reakcí uhlíku s křemíkem nebo oxidem křemičitým, případně reakcí oxidu uhelnatého s křemíkem nebo jeho oxidem. Vyrábí se lisováním za tepla, reakčním spékáním, nebo spékáním bez použití tlaku. Patří do skupiny technické keramiky. (SiC) připravený lisováním za tepla při vysoké teplotě a tlaku (teplota 1800 - 2500 °C, tlak 35 MPa) se vyznačuje vysokou hustotou, chemickou a tepelnou odolností a nelehkými možnostmi dalšího opracování a tvarování. Lze jej použít při teplotách do 1700 °C bez zhoršení pevnosti. Tento problém vedl k vývoji (SiC) připraveného reakčním spékáním. Velkou výhodou tohoto zpracovatelského postupu jsou malé rozměrové změny po dobu procesu.

Reakčně spékáný (SiC) se nejčastěji získává ze směsi (SiC), grafitového prášku a křemíku. Křemík, který je po dobu spékání tekutý, reaguje s grafitovým práškem a vytváří sklovitou fázi karbidu křemíku, působící jako pojivo. Po zpracování obsahuje materiál obvykle 10 - 15 % zbytkového křemíku. Spékáný (SiC) bez použití tlaku je připravován spékáním prášku (SiC) s přídavkem bóru, uhlíku nebo hliníku.

Výhody a nevýhody materiálů SiC

Výhody

- při vhodné aplikaci násobně vyšší životnost než klasické kovové materiály
- podstatné prodloužení servisních intervalů
- úspora nákladů na údržbu
- vysoká odolnost proti otěru
- trysky, ventily, čerpadla v chemickém průmyslu pro abrazivní suspenze
- umožnění konstrukčních řešení, která bez těchto materiálů nejsou možná
- nízká měrná hmotnost (přibližně odpovídající duralu)
- odlehčení částí strojů
- minimalizace teplotních vlivů na přesnost optických či měřicích zařízení

Nevýhody

- křehký materiál
- vyšší cena

Oblasti využití vyspělé keramiky z karbidu křemíku

Brousící nástroje - Pro výrobu brousících nástrojů se používá zejména (SiC) vyšší čistoty (obsah (SiC) vyšší jak 98 %). V používání je také důležitý tvar zrna a s tím související sypná hmotnost.

Žáromateriály - Používá se celá škála kvalit (SiC) od materiálů s obsahem 70 % SiC až po materiály s obsahem SiC vyšším jak 99 %. Pro moderní žáromateriály je důležitý kubický tvar zrna pro dosažení vysokých měrných hmotností žárovýrobku.

Technická keramika - V tomto oboru se používá SiC nejvyšší kvality; obsah SiC je vyšší jak 99 %.

Těsnící kroužky - Díky výborným kluzným vlastnostem, vysoké tvrdosti, otěruvzdornosti, chemické odolnosti jsou materiály z (SiC) výborným řešením pro kluzné kroužky v mechanických ucpávkách. Životností násobně překonávají materiály na bázi grafitu a výborně odolávají působení chemických médií. Jistou nevýhodou (SiC) materiálů v této aplikaci je nízká výdrž při výpadku mazání. Díky jedinečné technologii je možné dodávat kluzné kroužky až do průměru 1000 mm z jednoho kusu.

Trysky - Díky vysoké odolnosti vůči otěru, erozi a chemické odolnosti, jsou keramické trysky stále častěji nasazovány tam, kde ostatní materiály vykazují nízkou životnost. Typickým případem jsou rozprašovací trysky užívané v chemickém průmyslu nebo v odsiřovacích jednotkách uhelných energetických zdrojů.

Hořáky - Vysoká teplotní odolnost umožňuje aplikaci vyspělé keramiky do hořáků - jako koncovky.

Kluzná ložiska - Díky výborným tribologickým vlastnostem jsou (SiC) materiály velmi vhodné pro kluzná ložiska

Třídící a mlecí technika - Třídící kola zatížená abrazí, díky vlastnostem karbidu křemíku, dosahují výborných výsledků.

Armatury - Do náročných podmínek chemické výroby, energetiky, zpracování rud, papírenské výroby jsou dodávány keramické kulové ventily, části potrubí, vložky do namáhaných potrubních částí.

Pracovní části čerpadel - vřetena, lopatková kola

Speciální výrobky - Ve všech strojírenských oblastech je možné výhodně aplikovat keramické prvky, které zvýší životnost zařízení, případně zcela nahradí klasické materiály v náročných podmínkách s kombinací zátěže (teplota, koroze, otěr, eroze...).

3.2 Návrh vhodného nástroje a řezných podmínek pro řezání SiC

Jako materiál obrobku byl zvolen karbid křemíku SiSiC o průměru 80 mm a délce 150 mm s pevností v ohybu při 20 °C $R_m=340$ Mpa. SiSiC je křemíkem infiltrovaný karbid křemíku s trojrozměrnou strukturou matice, ve kterém jsou zbývající pórovité dutiny vyplněny kovovým křemíkem.[10] Tvrdost tohoto materiálu není přesně stanovena. Proto udávám tvrdost křemíku Si, která je 1200 HV a tvrdost základního karbidu křemíku SiC, která je 2700 HV.[10]

Pro řezání keramiky z karbidu křemíku SiSiC navrhuji celoobvodový diamantový řezný kotouč s bronzovou vazbou. (Obr.6) Kotouč, který jsem použil, má rozměry: Průměr 100 mm, otvor pro upnutí činí 20 mm výška diamantového okraje kotouče je 5 mm a šířka kotouče 1,3 mm.



Obr.6 použitý diamantový řezný kotouč s bronzovou vazbou

Bronzové pojivo, je spolu s diamantovými krystaly slinováno přímo na polotovar. V tomto případě se jedná o ocelový kotouč.

Zrnitost je D251 dle FEPA což je podle ČSN 224015 velikost diamantových krystalů 250/200 μm . [6]. Otáčky řezného kotouče se pohybují okolo 14000 ot/min, což odpovídá rychlosti 70 m/s.

Tyto rychlosti nelze určit přesně, neboť byl diamantový kotouč poháněn pomocí vzduchové turbíny, takže při vniknutí kotouče do materiálu se rychlost kotouče o něco snížila. Toto zařízení bylo součástí soustruhu, na kterém jsem prováděl zkušební řezy. Typ a označení použitého soustruhu je ERMER CNC, výrobní číslo, 872982, rok výroby 1986, použitý řídicí systém Sinumerik 810T. Při tomto řezání keramického válcového obrobku se otáčí i obrobek rychlostí 400 ot./min sousledným směrem. Rychlost posuvu kotouče je F40.

Karbid křemíku se dá samozřejmě řezat i ruční kotoučovou bruskou s diamantovým kotoučem. Ale jelikož jsou diamantové nástroje velmi křehké, a tudíž velmi náchylné k poškození, byl pro tyto zkušební řezy použit výše zmíněný dostupný typ soustruhu.

4 Diskuse experimentálních prací

Abychom mohli určit nejlepší diamantový řezací kotouč pro řezání keramiky z karbidu křemíku SiSiC, s jak z hlediska technologického tak i ekonomického, tak potřebujeme z něčeho vybírat. Proto jsem zvolil dva kotouče, které byly ve firmě CeramTec nejpoužívanější pro řezání SiSiC.

První řeznou zkoušku jsem provedl s diamantovým řezným kotoučem s galvanickou vazbou o průměru 100 mm upínací otvor 20 mm šířka kotouče 1,3 a výška diamantového okraje 3 mm. (Obr.7) Zrnitost D107 dle FEPA což je podle ČSN 224015 velikost diamantových zrn 100/80 μm . [6] Otáčky řezného kotouče se pohybují okolo 14000 ot/min, což odpovídá rychlosti 70 m/s.



Obr.7 Diamantový řezný kotouč s galvanickou vazbou

Řez proběhl v pořádku bez jakých koli potíží, řez byl čistý a jemně drsný (Obr. 8). Drsnost uřezaného vzorku byla odhadnuta na hodnotu Ra0,8.



Obr.8 Vzorek č.1

Jedinou vadu, který tento způsob řezání má, je že při dořezu se uřezávaná část utrhne vlivem vlastní tíhy a odstředivé síly způsobené při otáčení obrobku, protože uřezávaný díl drží ke konci řezu jen na malém kousku materiálu. Proto kolem vnitřního otvoru, vznikne malá hrana (Obr.9,10).



Obr.9 Vzniklá hrana



Obr.10 Detail z obrázku 9

Druhá řezná zkouška byla provedena výše navrženým diamantovým řezným kotoučem s bronzovou vazbou o průměru 100 mm, otvor pro upnutí 20 mm výška diamantového okraje kotouče je 5 mm a šířka kotouče 1,3 mm. (Obr.11) Zrnitost je D251 dle FEPA což je podle ČSN 224015 velikost diamantových krystalů 250/200 μm . [6] Otáčky tohoto řezného kotouče se také pohybují okolo 14000 ot/min, což odpovídá rychlosti 70 m/s.



Obr.11 Diamantový řezný kotouč s bronzovou vazbou

Tento řez také proběhl v pořádku bez potíží a poruch jak na obrobku, tak i na řezném kotouči (Obr.12) včetně výše zmíněného okraje, který se podle mého názoru bude tvořit u všech řezů realizovaných tímto způsobem. Okraj vytvořený při dořezu u druhé řezné zkoušky (Obr.13,14)



Obr.12 Vzorek č.2



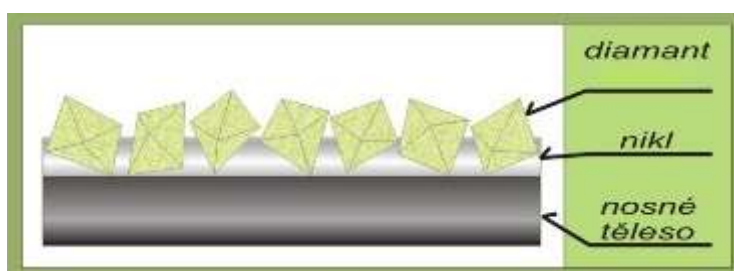
Obr.13 hrana u vzorku č.2



Obr.14 Detail z obrázku 12

5. Technicko-ekonomické zhodnocení

Diamantový řezný kotouč s galvanickou vrstvou. Tento řezný kotouč, má ve funkční vrstvě maximální koncentraci brusiva, nikl umožňuje svými mechanickými vlastnostmi menší zakotvení zrn, takže zrnno má obnaženou velkou část, tudíž má větší břit. Spojením těchto vlastností vykazují tyto nástroje vysoký řezný účinek. Ale jelikož tato galvanicky nanesená vrstva má tloušťku pouhých 0,15 mm, tak se tato vrstva rychle opotřebí. (Obr. 15).



Obr. 15 Diamantová zrna v niklové vazbě [6]

Výdrž tohoto kotouče je podstatně kratší a i přesto, že po opotřebení diamantové vrstvy se může ocelový nosný kotouč použít dál, tím že se na něj nanese nová galvanická vrstva s diamanty, je samotná výroba dražší než u kotoučů s bronzovou vazbou.

Diamantový řezný kotouč s bronzovou vazbou. Diamantový okraj kotouče obsahuje směs nalisovaných diamantů a kovového prášku. U tohoto typu kotouče se „obrušuje“ nejen diamant, ale i pojivo. Funkční vrstva tohoto použitého kotouče je podstatně větší, než u kotoučů s galvanickou vazbou. Při opotřebení vrchní vrstvy diamantů se skrývají pod vrstvou pojiva další a další diamantová zrna. (Obr.16) Proto nedochází k tak rychlému opotřebení jako u předchozího kotouče.



Obr.16 Diamantová zrna v bronzové vazbě

Z toho vyplívá, že výdrž tohoto kotouče je větší, a výroba těchto kotoučů také není tak finančně náročná jako u předchozího typu.

Řezání keramiky vodním paprskem se používá pro řezání plošných dílů, jako jsou pásy, desky atd. Proto nebyla tato metoda v tomto případě použita. A kdyby byla technologicky možná, určitě by byla finančně náročnější než řezání diamantovými nástroji.

POUŽITÁ LITERATURA:

- [1] HANYKÝŘ, Vladimír, KUTZENDÖRFER, Jaroslav. Technologie keramiky. Vydání 2., v silikátovém svazu 1. Praha silikátový svaz, 2008, 387 s.
- [2] VALENTA, Ladislav. Keramická příručka. Vydání 2., v silikátovém svazu 1. Praha : Silikátový svaz, 2007, 417 s.
- [3] KŘÍŽ, Bořivoj, VRÁNA, Ludvík. Diamantové nástroje a jejich použití v průmyslu. 1. vydání, Praha : SNTL, 1965, 110 s.
- [4] <http://www.converter.cz/tabulky/tvrdost-mohs.htm>
- [5] <http://www.gmtechnik.cz/naradi-stroje/nastroje-brusivo-meridla/pferd.htm>
- [6] <http://www.disperga.cz/dia-a-cbn-nastroje/zakladni-nastroje/>
- [7] SANDVIK Coromat. Příručka obrábění
Praha 1997
- [8] <http://www.diapraha.cz/index.php?page=obsah§ion=doporucene-rezne-rychlosti&top=dianastroje>
- [9] http://www.ksd.tul.cz/studenti/texty/uvod_do_strojirenstvi/VZOR-sem-prace.pdf
- [10] <http://www.chps.cz/vodni-paprsek.html>
- [11] <http://www.ceramtec.cz>
- [12] VASILKO, K., NOVÁK-MARCINČIN, J., HAVRILA, M. Výrobné inžinierstvo. [I] Prešov : Datapress Prešov, 2003, 424 s. ISBN 80-7099-995-0.
- [13] NESLUŠAN, M., TUREK, S., BRYCHTA, J., ČEP, R., TABAČEK, M. Experimentálne metódy v trieskovom obrábaní. [I] Žilina, 2007, 343 s. ISBN 978-80-8070-711-8.
- [14] BRYCHTA, J., HAVRILA, M., JURKO, J., ZAJAC, J. Top trendy v obrábaní, I. Část – Obrábané materiály. Žilina : Media/ST, s.r.o., Žilina, 2006, 193 s. ISBN 80-968954-2-7.
- [15] ZAJAC, J., JURKO, J., ČEP, R. Top trendy v obrábaní, II. Část – Nástrojové materiály- [I] Žilina : Media/ST, s.r.o., Žilina, 2006, 193 s. ISBN 80-968954-2-7.
- [16] VASILKO, K., HAVRILA, M., MARCINICIN-NOVÁK, J., MÁDL, J., ZAJAC, J. Top trendy v obrábaní, III. část – Technologie obrábění. [I] Žilina : Media/ST, s.r.o., Žilina, 2006, 214 s. ISBN 80-968954-2-7.